

# Transmitancia térmica de la envolvente y cumplimiento del DB-HE 2019 para un bloque de viviendas

## *Thermal transmittance of the envelope and DB-HE 2019 compliance for a multi-family block*

Jesús Sobaler-Rodríguez<sup>(\*)</sup>, Rafael Villar-Burke<sup>(\*)</sup>, Marta Sorribes-Gil<sup>(\*)</sup>, Daniel Jiménez-González<sup>(\*)</sup>

### RESUMEN

Este artículo analiza el cumplimiento normativo de las secciones HEO y HE1 del reciente DB-HE 2019 y el coste económico de la envolvente térmica para un edificio de uso residencial plurifamiliar entre medianerías. Se ha estudiado este modelo con distintos porcentajes de huecos y se han examinado las soluciones necesarias para los diferentes climas de la geografía española, con el objetivo de encontrar estrategias para la verificación de los requisitos de control de la demanda y límite de los consumos incorporados en la última actualización del DB-HE, a través de criterios de optimización económica en base a un modelo de costes simplificado.

**Palabras clave:** aislamiento; envolvente; eficiencia energética; fachada; optimización.

### ABSTRACT

*This article shows a work about the compliance of the new DB-HE sections, HEO and HE1, and the economic cost of the thermal envelope for a residential multi-family block. It was studied among diverse window-wall ratios and there were examined the necessary solutions for the different Spanish climates, aiming to find out how to verify the requirements of demand control and the limits of consumes incorporated in the last actualization of the DB-HE, through economic optimization criteria on a simplified cost model basis.*

**Keywords:** isolation; envelope; energy efficiency; façade; optimization.

(\*) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: [jesussobaler@hotmail.com](mailto:jesussobaler@hotmail.com) (J. Sobaler)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5537-4681> (J. Sobaler); <https://orcid.org/0000-0003-1831-4051> (R. Villar-Burke); <https://orcid.org/0000-0002-7932-714X> (M. Sorribes-Gil); <https://orcid.org/0000-0003-3891-9533> (D. Jiménez-González)

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Jesús Sobaler, Rafael Villar-Burke, Marta Sorribes-Gil, Daniel Jiménez-González (2022). Transmitancia térmica de la envolvente y cumplimiento del DB-HE 2019 para un bloque de viviendas. *Informes de la Construcción*, 74(565): e433. <https://doi.org/10.3989/ic.84149>

**Copyright:** © 2022 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 09/10/2020  
Aceptado/Accepted: 20/07/2021  
Publicado on-line/Published on-line: 09/03/2022

## 1. INTRODUCCIÓN

Este estudio se realiza tras la modificación del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de Edificación (CTE) aprobada en diciembre de 2019 (1). Esta actualización se produce dentro del marco normativo de la Unión Europea a través de la Directiva 2010/31/UE, en la que se marca el objetivo de que todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo (EECN) a finales de 2020 (2).

Esta actualización es el colofón a una década en la que el leitmotiv de la construcción ha sido la eficiencia energética y su impacto medioambiental (3). En la anterior versión del DB-HE (4), aprobada en 2013, se incorporaba una sección, la HEO, dedicada a la limitación del consumo de energía, con un indicador de consumo de energía primaria no renovable ( $C_{ep,ren}$ ) y que, en 2019, añade un nuevo indicador, el de consumo de energía primaria total ( $C_{ep,tot}$ ).

En esta nueva versión, la sección HE-1 “Condiciones para el control de la demanda energética” (5) es una de las secciones que sufre cambios, modificando las transmitancias térmicas máximas de los elementos que componen la envolvente ( $U_{lim}$ ) aumentando su exigencia, y añadiendo el coeficiente global de transmisión de calor (K), un parámetro que depende del clima, la compacidad y el uso del edificio.

En la sección 1 del Documento de Ahorro de Energía se establecen unos valores límite de transmitancia para cada elemento ( $U_{lim}$ ), tratando de asegurar una calidad mínima de la envolvente y evitar descompensaciones en la calidad térmica de los espacios del edificio. Estos valores no garantizan el cumplimiento del valor límite del coeficiente global de transmisión de calor (K) ni el cumplimiento de los límites de consumo de energía, por lo que en dichos casos puede ser necesario reducir los valores de transmitancia de los elementos y los puentes térmicos hasta cumplir. Por esta razón, en el anejo E del DB-HE se aportan unos valores orientativos que sirven para predimensionar y situarse en las proximidades del cumplimiento.

A la hora de acercarse a las exigencias del HE1, la medida más directa para lograrlo consiste en el incremento del espesor en los elementos aislantes. No obstante, esta medida va perdiendo eficacia cuanto mayor es el grosor y, sin embargo, el aumento en el coste del material permanece lineal. Por este motivo, el presente artículo muestra un estudio de la combinación de los distintos elementos de la envolvente, usando los valores de transmitancia límite y los valores del apéndice E, en función de la limitación requerida por la norma y el coste económico de los mismos.

Por otra parte, en esta nueva versión del documento también se establecen otros nuevos factores como el control de las ganancias solares mediante el parámetro de control solar ( $q_{sol,jul}$ ) y la permeabilidad del edificio, mediante la tasa de intercambio de aire ( $n_{50}$ ). Estos parámetros permiten definir cuantitativamente la calidad final de la envolvente a la vez que ponen en valor precisamente la importancia del diseño general del edificio: aspectos como el tamaño de los huecos, la orientación o los elementos de sombra determinarán en muy amplia medida las ganancias y pérdidas que influyen en la demanda de calefacción y refrigeración del edificio (6)(7), además de en el coste del edificio (8)(9).

Frente a los estudios de estrategias para la optimización energética, ya sea de demandas, consumos, emisiones o

energía incorporada y su relación con el análisis de ciclo de vida, este artículo se centra en el cumplimiento normativo de las condiciones para el control de la demanda energética, sección HE1, y su relación con los consumos de energía totales, sección HEO, analizando el impacto de uno de los parámetros de diseño, la fracción de huecos en fachada, comparando distintas soluciones según los valores de transmitancia límite, del Anejo E y, en el caso de que no cumplan las anteriores, identificando la solución de menor coste económico.

La motivación de este artículo parte de cuestiones de interés práctico que surgen con los cambios normativos, que plantean dudas sobre su impacto en aspectos de diseño como el espesor viable de los elementos de aislamiento, las características térmicas de los huecos o la importancia del porcentaje de huecos. Se abordan aquí estas cuestiones, de forma cuantitativa, mediante un modelo de costes simplificado, que puede ser de utilidad. Como caso de estudio, se usa un edificio residencial plurifamiliar entre medianerías, inaugurando una serie de casos distintos en los que poder aplicar la metodología utilizada a diferentes tipologías edificatorias.

## 2. METODOLOGÍA

Para realizar este estudio se han seguido los pasos que normalmente se tomarían a la hora de diseñar y verificar los requisitos que ha de cumplir un edificio:

- Definición del edificio tipo.
- Definición de las soluciones constructivas, con sus cualidades térmicas y económicas.
- Cálculo del parámetro K para los distintos climas (Verificación de HE1)
- Cálculo de consumos energéticos (Verificación de HEO)

### 2.1. Definición del edificio tipo

Como caso de estudio, se ha definido un edificio de siete plantas, entre medianerías, con patio interior, de uso residencial con uso comercial en planta baja, con orientación Norte-Sur (Figura 1), correspondiente a la tipología de bloque en H. Las superficies correspondientes a la envolvente se muestran en la Tabla 1, sumando en total 2154 m<sup>2</sup>, con una compacidad de 3,54. Aunque sea parte también de la envolvente térmica, las medianerías no se utilizan para el cálculo simplificado del coeficiente global de transmisión de calor (K), ya que se presupone que el otro espacio que separa está climatizado y puede considerarse adiabático.

**Tabla 1.** Datos geométricos considerados para el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor (K).

Elemento	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Fachada principal	588	27
Fachada patio	840	39
Cubierta	363	17
Solera	363	17
<b>TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>	<b>2154</b>	
Volumen (m <sup>3</sup> )	7625	
Compacidad (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )	3.54	

Tras la definición del modelo, se utiliza el porcentaje de huecos en fachada como parámetro de diseño a estudiar, en el cual se hace una serie de hipótesis que se sitúan entre el 10% y 35%, con el fin de mostrar una serie de posibilidades entre las situaciones más habituales de huecos para uso residencial.

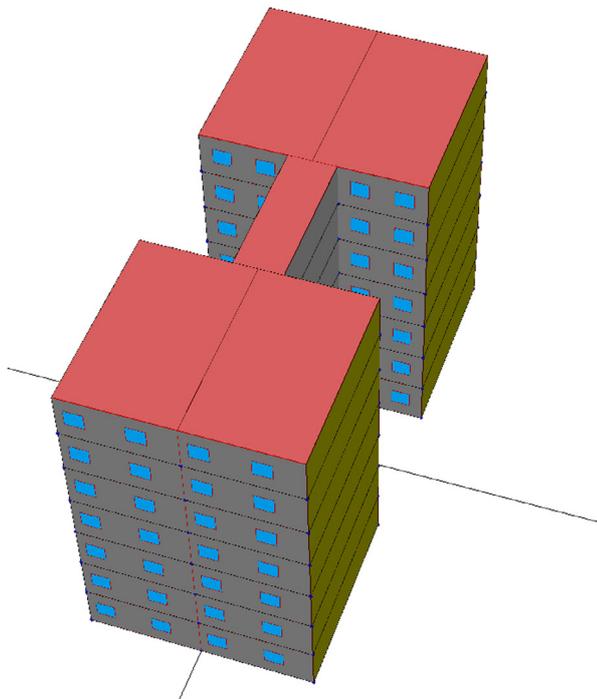


Figura 1. Volumetría del edificio tipo.

la resistencia térmica de una solución constructiva base para cada tipo de cerramiento. En muros, se añade la resistencia térmica de una fábrica de ladrillo perforado hueco doble (0,4 m<sup>2</sup>K/W), mientras que en cubierta la equivalente a la solución de baldosín catalán sobre forjado unidireccional con entrevigado cerámico de 30 cm (0,5 m<sup>2</sup>K/W). En solera, además de la resistencia de su solución base, plaqueta de gres y solera de hormigón de 25 cm (0,31 m<sup>2</sup>K/W), se le añade la resistencia térmica del terreno, calculada según los métodos de cálculo en la norma UNE-EN ISO 13370 (10), obteniendo una resistencia total de la solución base de 2 m<sup>2</sup>K/W. (Figura 2).

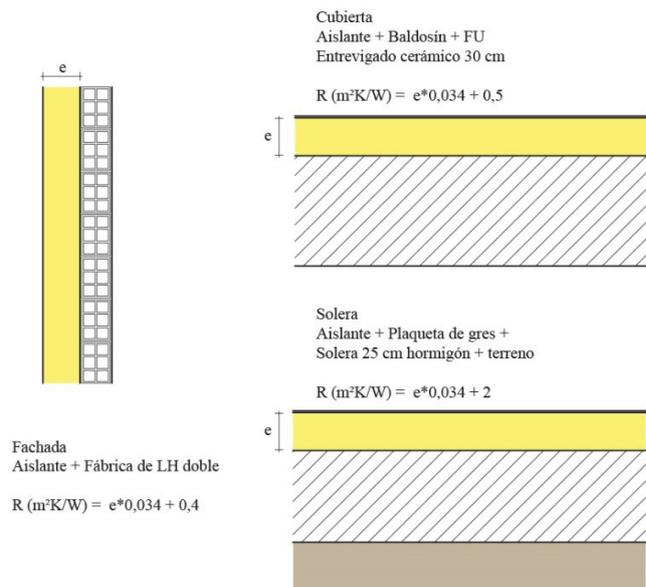


Figura 2. Secciones tipo de los cerramientos opacos.

Además del anterior parámetro correspondiente a las cualidades geométricas de edificio, se ha realizado el estudio para los siguientes climas: α3, A4, B3, C2, D3, E1, que representan un abanico amplio de severidades climáticas.

## 2.2. Parámetros económicos

En este estudio se ha analizado exclusivamente el impacto económico que tienen el aislamiento térmico y los huecos. Se ha hecho una comparación de diversas soluciones constructivas recogidas en una base de datos (12) para obtener los precios del material de aislante y de huecos. En el caso del aislamiento térmico, se ha asignado un precio de 1,5 €/m<sup>2</sup>·cm tras comprobar distintos materiales aislantes. En cuanto a los huecos, se han buscado los precios más comunes para las soluciones constructivas definidas en la tabla 2.

Una vez fijados los precios de cada componente, se multiplican por la superficie de cerramiento correspondiente y se dividen por la superficie total de envolvente para mostrar el precio relativo de la solución constructiva.

## 2.3. Características térmicas de la envolvente

Para poder transformar los valores de transmitancia límite y los del anejo E en una solución concreta para la realización de este trabajo, se ha elegido usar un aislante térmico con una conductividad  $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$ , al que se le añade

En el caso de los huecos, éstos se definen por su transmitancia térmica (U), que ha servido para definir 6 tipos distintos de ventanas (Tabla 2), con soluciones concretas de marco y vidrio, usando los datos del catálogo de elementos constructivos del CTE (11).

Tabla 2. Tipos de hueco.

Tipo	U (W/ m <sup>2</sup> K)	Marco	Vidrio	Precio (€/m <sup>2</sup> )
V1	3,20	Metálico sin RPT	4/16/6	302
V2	2,70	Metálico RPT d>12mm	B.E. 4/8/6	322
V3	2,30	Metálico RPT d>24mm	B.E. 4/8/6	338
V4	2,10	PVC 2 cámaras	B.E. 4/10/6	346
V5	1,80	PVC 3 cámaras	B.E. 4/20/6	358
V6	1,50	PVC 5 cámaras	B.E. 4/20/6	378

Otros factores que influyen en el comportamiento de los huecos son el factor solar del vidrio (g), que en este caso ha sido 0,5, y la transmitancia de energía solar con dispositivos de sombra móviles (g<sub>gl</sub>;sh;wi), se ha definido en 0,04, corres-

**Tabla 3.** Soluciones constructivas según los valores de transmitancia límite de la sección HE1 y los valores orientativos del Anejo E.

		Valores límite HE-1				Valores orientativos Anejo E			
		Hueco	Muro	Cubierta	Solera	Hueco	Muro	Cubierta	Solera
Clima α	U (W/ m²K)	3,20	0,80	0,55	0,90	2,70	0,56	0,50	0,80
	Solución	V1	4 cm	5 cm	0 cm	V2	5 cm	5 cm	0 cm
Clima A	U (W/ m²K)	2,70	0,70	0,50	0,80	2,70	0,50	0,44	0,80
	Solución	V2	4 cm	5 cm	0 cm	V2	6 cm	6 cm	0 cm
Clima B	U (W/ m²K)	2,30	0,56	0,44	0,75	2,00	0,38	0,33	0,69
	Solución	V3	5 cm	6 cm	0 cm	V4	8 cm	9 cm	0 cm
Clima C	U (W/ m²K)	2,10	0,49	0,40	0,70	2,00	0,29	0,23	0,48
	Solución	V4	6 cm	7 cm	0 cm	V4	10 cm	13 cm	0 cm
Clima D	U (W/ m²K)	1,80	0,41	0,35	0,65	1,60	0,27	0,22	0,48
	Solución	V5	7 cm	8 cm	0 cm	V6	11 cm	14 cm	0 cm
Clima E	U (W/ m²K)	1,80	0,37	0,33	0,59	1,50	0,23	0,19	0,48
	Solución	V5	8 cm	9 cm	0 cm	V6	13 cm	16 cm	0 cm

pondiente a un hueco con vidrio doble y con persiana como dispositivo de protección solar. Además de estos parámetros, se han simulado los huecos con 20 cm de retranqueo respecto a la fachada.

Tras la especificación de estos criterios, se usaron los valores límite de transmitancia de la sección HE-1 y los valores orientativos del Anejo E para definir las correspondientes soluciones constructivas en los distintos climas (Tabla 3).

**2.4. Cálculo de K y del coste de la envolvente**

La sección HE1 está dedicada a las condiciones que limitan la demanda energética. Una de ellas es el coeficiente global de transmisión de calor (K), que viene expresado mediante la fórmula [1]. Este valor aproxima el valor medio del coeficiente de transferencia de calor de los elementos de la envolvente incluyendo los puentes térmicos. Tras un breve estudio de los puentes térmicos usando de referencia los valores de las soluciones del atlas de puentes térmicos del grupo 1 (13), correspondientes a soluciones en las que se han tratado éstos mínimamente, con continuidad en el aislamiento, se ha tomado como hipótesis razonable que los puentes térmicos supongan un incremento de K del 5%.

$$[1] \quad K = \frac{\sum_x b_{tr,x} \left[ \sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j x_{x,j} \right]}{\sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}}$$

A partir de estos criterios, se procedió al cálculo del valor de K mediante la aplicación EnvolventeCTE (14) para los distintos porcentajes de huecos con las soluciones constructivas definidas y la diferencia con el límite marcado para cada clima. Tras esto, se calcularon las soluciones óptimas en coste que verifican el requisito de K<sub>lim</sub> para aquellas que no cumplieron con el límite, escogiendo entre las distintas posibilidades aquellas que tuvieran el menor coste relativo de la envolvente térmica posible según los anteriores parámetros económicos. Posteriormente, se hizo una comparación de costes entre estas soluciones óptimas y las obtenidas mediante los valores

orientativos del Anejo E con las soluciones base que se obtienen de las transmitancias límite.

**2.5. Cálculo de los consumos energéticos**

La verificación de la sección HEO del documento se realiza una vez que se ha definido la envolvente térmica. Para ello, se ha procedido a realizar el cálculo de las demandas de calefacción y refrigeración de los distintos casos usando las soluciones óptimas que cumplen K<sub>lim</sub> y las soluciones del anejo E mediante la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), herramienta gratuita de simulación y certificación energética del MITMA. (15)

Para evaluar los indicadores de consumo de la sección HEO, además de las demandas de calefacción y refrigeración, es necesario tener en cuenta el impacto de la producción de ACS y la ventilación. La demanda de ACS se ha establecido para una ocupación de 35 m²/pers y un consumo de 28 l/día-pers, con un factor de pérdidas de 1,1 y una contribución de energía renovable del 60%. La demanda de ventilación se ha calculado con 0,6 ren/h y 2,7 m³/m². Estos valores están, bien condicionados por exigencias reglamentarias del CTE, o bien resultan de valores típicos en uso residencial.

A partir de estos datos se ha calculado los consumos con un equipo habitual en vivienda, compuesto por una caldera de condensación con rendimiento η=0,95 y una bomba de calor con rendimiento η=2,50. Se han usado los factores reglamentarios de paso a energía primaria, recogidos en la herramienta HULC, para hallar los consumos de energía primaria no renovable (C<sub>ep,nren</sub>) y primaria total (C<sub>ep,tot</sub>)(16).

**3. RESULTADOS**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el cálculo del valor K, con las soluciones límite y con los valores orientativos del anejo E (Tabla 4), las soluciones óptimas de menor coste económico que verifican el requisito de K<sub>lim</sub> (Tabla 5) y los consumos con las mismas soluciones anteriores (Figuras 3 y 4)

### 3.1. Cálculos de K (verificación HE1)

**Tabla 4.** Valores de K con las transmitancias límite de HE1 y con las orientativas del Anejo E.

%Huecos	Clima α3 (K <sub>lim</sub> =0,83)		Clima A4 (K <sub>lim</sub> =0,77)		Clima B3 (K <sub>lim</sub> =0,74)		Clima C2 (K <sub>lim</sub> =0,69)		Clima D3 (K <sub>lim</sub> =0,64)		Clima E1 (K <sub>lim</sub> =0,59)	
	U <sub>lim</sub>	Anejo E										
10	0,80	0,70	0,76	0,64	0,66	0,51	0,59	0,45	0,53	0,41	0,50	0,37
15	(0,88)	0,77	(0,83)	0,72	0,72	0,57	0,65	0,51	0,58	0,45	0,55	0,42
20	(0,97)	(0,85)	(0,90)	(0,80)	(0,78)	0,62	(0,70)	0,57	0,63	0,50	(0,60)	0,46
25	(1,06)	(0,92)	(0,98)	(0,87)	(0,84)	0,68	(0,76)	0,63	(0,67)	0,55	(0,64)	0,50
30	(1,15)	(1,00)	(1,05)	(0,95)	(0,90)	0,74	(0,82)	0,69	(0,72)	0,59	(0,69)	0,55
35	(1,24)	(1,07)	(1,12)	(1,03)	(0,97)	(0,79)	(0,87)	(0,75)	(0,77)	0,64	(0,74)	0,59

Entre paréntesis las soluciones que no cumplen K<sub>lim</sub>

**Tabla 5.** Soluciones óptimas en coste relativo que cumplen el requisito K<sub>lim</sub> en relación a los valores de HE1 (U<sub>lim</sub>) y Anejo E (Valores orientativos).

		Clima α3		Clima A4		Clima B3		Clima C2		Clima D3		Clima E1		
		U*	Solución	U	Solución	U	Solución	U	Solución	U	Solución	U	Solución	
HE1	Hueco	3,2	V1	2,7	V2	2,3	V3	2,1	V4	1,8	V5	1,8	V5	
	Muro	0,8	4 cm	0,7	4 cm	0,56	5 cm	0,49	6 cm	0,41	7 cm	0,37	8 cm	
	Cubierta	0,55	5 cm	0,5	5 cm	0,44	6 cm	0,4	7 cm	0,35	8 cm	0,33	9 cm	
	Solera	0,9	0 cm	0,8	0 cm	0,75	0 cm	0,7	0 cm	0,65	0 cm	0,59	0 cm	
Anejo E	Hueco	2,7	V2	2,7	V2	2	V3	2	V3	1,6	V6	1,5	V6	
	Muro	0,56	5 cm	0,5	6 cm	0,38	8 cm	0,29	10 cm	0,27	11 cm	0,23	13 cm	
	Cubierta	0,5	5 cm	0,44	6 cm	0,33	9 cm	0,23	13 cm	0,22	14 cm	0,19	16 cm	
	Solera	0,8	0 cm	0,8	0 cm	0,69	0 cm	0,48	0 cm	0,48	0 cm	0,48	0 cm	
Porcentaje de huecos (%)	10	Hueco	3,2	V1	2,7	V2	2,3	V3	2,1	V4	1,8	V5	1,8	V5
		Muro	0,63	4 cm	0,63	4 cm	0,53	5 cm	0,46	6 cm	0,41	7 cm	0,36	8 cm
		Cubierta	0,51	5 cm	0,51	5 cm	0,44	6 cm	0,39	7 cm	0,35	8 cm	0,32	9 cm
		Solera	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm
	15	Hueco	3,2	V1	2,7	V2	2,3	V3	2,1	V4	1,8	V5	1,8	V5
		Muro	0,53	5 cm	0,53	5 cm	0,53	5 cm	0,46	6 cm	0,41	7 cm	0,36	8 cm
		Cubierta	0,51	5 cm	0,51	5 cm	0,44	6 cm	0,39	7 cm	0,35	8 cm	0,32	9 cm
		Solera	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm	0,49	0 cm
	20	Hueco	<b>3,2</b>	<b>V1</b>	<b>2,7</b>	<b>V2</b>	2,3	V3	2,1	V4	1,8	V5	1,8	V5
		Muro	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	0,46	6 cm	0,46	6 cm	0,41	7 cm	0,36	8 cm
		Cubierta	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	0,39	7 cm	0,39	7 cm	0,35	8 cm	0,32	9 cm
		Solera	<b>0,49</b>	<b>0 cm</b>	<b>0,49</b>	<b>0 cm</b>	0,49	0 cm	0,42	1 cm	0,49	0 cm	0,42	1 cm
	25	Hueco	2,7	V2	2,3	V3	2,3	V3	2,1	V4	1,8	V5	1,8	V5
		Muro	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	0,41	7 cm	0,36	8 cm	0,41	7 cm	0,33	9 cm
		Cubierta	<b>0,35</b>	<b>8 cm</b>	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	0,35	8 cm	0,35	8 cm	0,35	8 cm	0,29	10 cm
		Solera	<b>0,49</b>	<b>0 cm</b>	<b>0,49</b>	<b>0 cm</b>	0,37	2 cm	0,42	1 cm	0,33	3 cm	0,33	3 cm
30	Hueco	<b>2,3</b>	<b>V3</b>	<b>2,1</b>	<b>V4</b>	2,1	V4	1,8	V5	1,8	V5	1,5	V6	
	Muro	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	0,36	8 cm	0,36	8 cm	0,33	9 cm	0,33	9 cm	
	Cubierta	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	0,32	9 cm	0,39	7 cm	0,29	10 cm	0,32	9 cm	
	Solera	<b>0,49</b>	<b>0 cm</b>	<b>0,37</b>	<b>2 cm</b>	0,37	2 cm	0,42	1 cm	0,33	3 cm	0,37	2 cm	
35	Hueco	<b>2,1</b>	<b>V4</b>	<b>2,1</b>	<b>V4</b>	<b>1,8</b>	<b>V5</b>	<b>1,8</b>	<b>V5</b>	1,5	V6	1,5	V6	
	Muro	<b>0,41</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,33</b>	<b>9 cm</b>	<b>0,36</b>	<b>8 cm</b>	<b>0,33</b>	<b>9 cm</b>	0,36	8 cm	0,28	11 cm	
	Cubierta	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,29</b>	<b>10 cm</b>	<b>0,39</b>	<b>7 cm</b>	<b>0,29</b>	<b>10 cm</b>	0,29	10 cm	0,29	10 cm	
	Solera	<b>0,37</b>	<b>2 cm</b>	<b>0,37</b>	<b>2 cm</b>	<b>0,37</b>	<b>2 cm</b>	<b>0,33</b>	<b>3 cm</b>	0,37	2 cm	0,30	4 cm	

U\*: Transmitancia del elemento (W/ m<sup>2</sup>K)

En letra cursiva los casos en que estas soluciones corresponden a las mismas con transmitancias límite, en letra redonda los casos en los que el cumplimiento de K<sub>lim</sub> se puede obtener también con las soluciones orientativas del Anejo E, y en letra negrita aquellos casos en los que sólo se cumple el requisito con estas soluciones.

**Tabla 6.** Incremento en el coste relativo de la envolvente respecto a la solución de U\_lim con las soluciones optimizadas y las del Anejo E (€/m<sup>2</sup>).

%Huecos	Clima α3		Clima A4		Clima B3		Clima C2		Clima D3		Clima E1	
	Óptimo	Anejo E	Óptimo	Anejo E	Óptimo	Anejo E						
10%	0,00	2,22	0,00	2,06	0,00	4,26	0,00	5,41	0,00	5,67	0,00	7,09
15%	0,85	2,83	0,85	1,96	0,00	4,51	0,00	5,34	0,00	5,73	0,00	7,24
20%	2,91	( 3,44 )	2,91	( 1,86 )	1,06	4,75	0,26	5,27	0,00	5,80	0,26	7,38
25%	6,32	( 4,05 )	5,40	( 1,76 )	2,53	5,00	2,01	5,20	0,77	5,86	1,78	7,53
30%	9,74	( 4,66 )	7,88	( 1,66 )	4,97	5,25	4,03	5,13	2,69	5,93	3,59	7,68
35%	13,14	( 5,27 )	10,59	( 1,56 )	7,34	( 5,49 )	6,26	( 5,07 )	4,45	5,99	6,01	7,82

Entre paréntesis las soluciones que no cumplen  $K_{lim}$

### 3.2. Cálculos de consumos (verificación HEO)

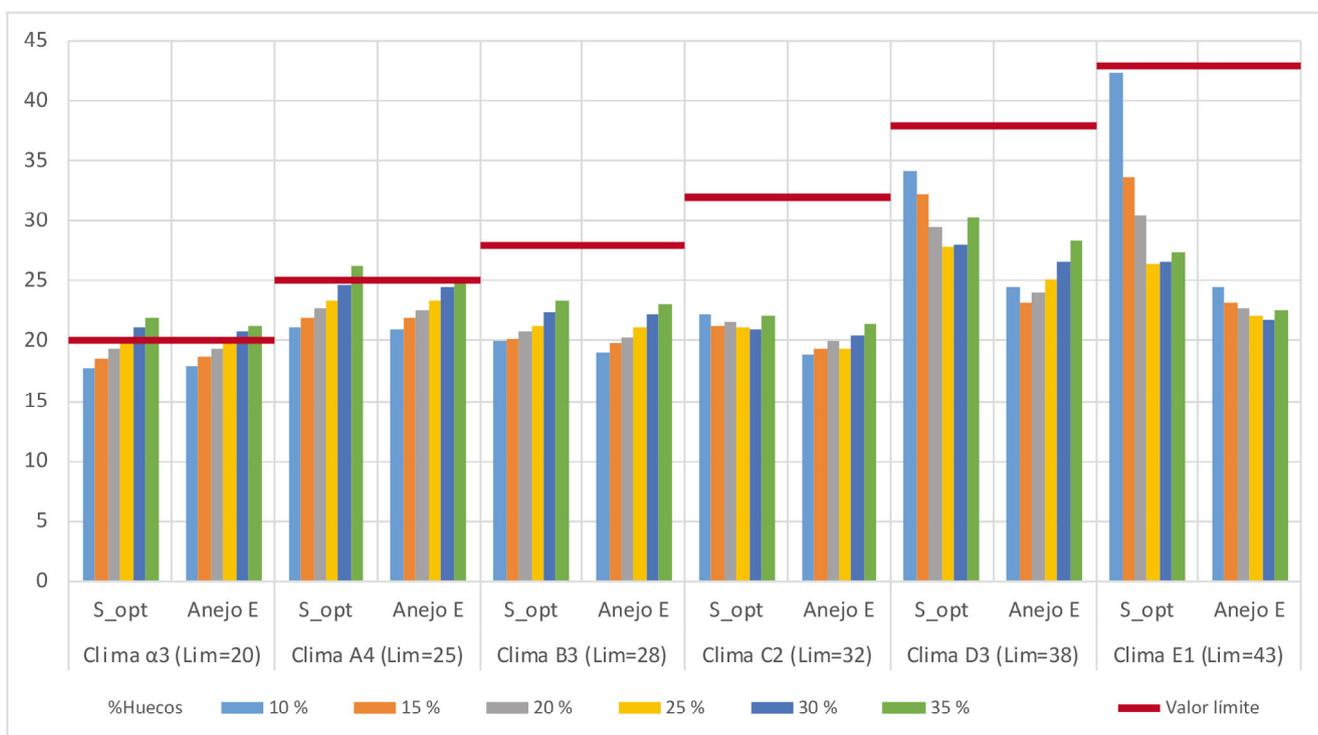


Figura 3. Consumos de energía primaria no renovable (kWh/m<sup>2</sup>a).

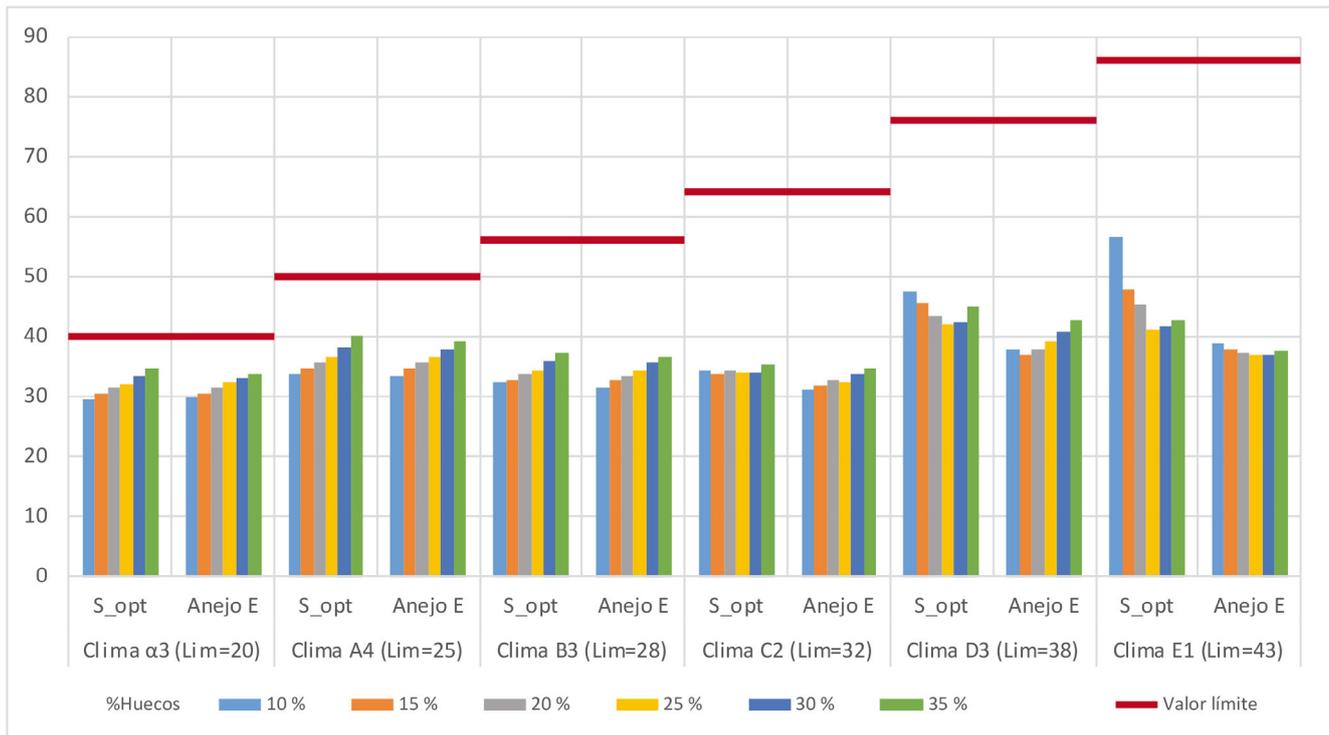


Figura 4. Consumos de energía primaria total (kWh/m²a).

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

##### 4.1. Cumplimiento de los valores de K

El cálculo de K con las soluciones de transmitancias límite (Tabla 4) ha mostrado que los valores límite son en general útiles para porcentajes bajos de huecos, mejorando este comportamiento en climas fríos. Sin embargo, las soluciones que usan los valores del Anejo E arrojan resultados dispares según el clima. En aquellos cálidos, los valores de transmitancia límite se observan insuficientes para la mayoría de porcentajes de huecos. Mientras, en climas templados y fríos estos valores permiten cumplir para la mayoría de hipótesis estudiadas.

Para el cumplimiento de  $K_{lim}$ , la tabla 5 donde se recogen las soluciones óptimas permite observar que en climas cálidos las soluciones que verifican el coeficiente K tienen valores de transmitancia más alejados del límite que aquellas soluciones en climas fríos. Se muestra que en climas cálidos la opción más eficaz para el cumplimiento consiste en la mejora de las transmitancias en los elementos opacos. En particular, las transmitancias en las partes opacas en el clima α3 son menores que en el clima A4, pero esto es debido a que las transmitancias de los huecos son mayores en el clima insular. Por el contrario, al partir de espesores mayores en climas fríos, la principal medida consiste en la mejora de las transmitancias de huecos. Por otra parte, en todos los climas resulta evidente que, para porcentajes altos de huecos, la mejora de la transmitancia de los huecos es la opción que más influye en el cumplimiento final.

En líneas generales, se aprecia que en pocas situaciones se necesitan espesores elevados de aislamiento para lograr cumplir el coeficiente de transmitancia global. Esto se explica porque la transmitancia del elemento es inversamente proporcional a la resistencia térmica, que está relacionada directamente con el espesor. (Figura 5).

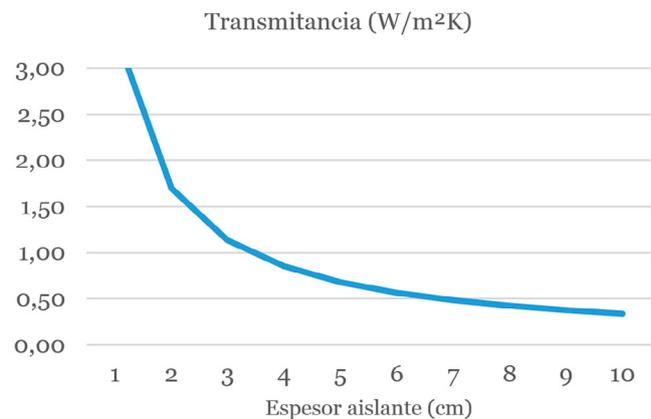


Figura 5. Transmitancia del aislante según su espesor ( $\lambda = 0,034$  W/mK).

La comparación entre mismos porcentajes de huecos para distintos climas muestra algunos resultados que a priori pueden parecer extraños. Por ejemplo, menores transmitancias en climas cálidos que en fríos del mismo elemento. Esta situación puede venir dada por la propia metodología, ya que, en este caso, se está trabajando con espesores concretos de aislante con una diferencia de centímetro en centímetro que no permite elegir espesores intermedios.

Por otra parte, la reducción de la transmitancia en los huecos en porcentajes altos tiene un gran impacto en el cómputo global, lo que logra que a veces se puedan reducir los espesores del aislante respecto a un clima más suave.

En este sentido, se ha realizado posteriormente un estudio de los huecos para aquellos casos que con las soluciones del Anejo E no se cumplía el coeficiente K, utilizando la

siguiente solución de hueco de la tabla 2 según su transmitancia, comprobando el cumplimiento de la exigencia hasta el 25% de huecos en fachada para los climas  $\alpha_3$  y A4 y en todos los demás casos de los restantes climas. Esta situación indica que los valores de transmitancia de huecos en estos climas son menos restrictivos que los valores de elementos opacos.

#### 4.2. Cumplimiento de los valores límite de consumo

Los resultados que se arrojan tras el cálculo de los consumos en las dos variantes de envolvente que se han estudiado muestran que ambas soluciones permiten cumplir el límite de consumo de energía primaria total ( $C_{ep,tot}$ ) (Figura 4). Sin embargo, en lo referido al consumo de energía primaria no renovable ( $C_{ep,nren}$ ) (Figura 3), se encuentran dificultades para el cumplimiento del requisito en climas cálidos en porcentajes altos de huecos.

Las diferencias y tendencias que se han encontrado muestran que, aunque la envolvente tenga unas prestaciones de calidad, el diseño del edificio es fundamental a la hora de cumplir los límites de consumo.

Por ejemplo, es destacable la influencia del porcentaje de huecos en los consumos y su diferencia en un clima cálido y en un clima frío. Al aumentar la superficie acristalada, aumenta a su vez la radiación solar que penetra dentro del edificio, calentando el espacio interior. Este efecto se muestra negativo en los climas cálidos, donde la demanda de refrigeración es más importante. Sin embargo, en los climas fríos esta situación resulta favorable, ya que el calentamiento que se consigue mediante las ganancias solares permite reducir la demanda de calefacción, donde es más restrictiva, sin afectar significativamente a la refrigeración.

Es destacable también la diferencia que existe entre los valores de las soluciones óptimas y los valores orientativos del Anejo E. En climas cálidos se observan valores similares entre ambas soluciones, sin embargo, en climas fríos los resultados difieren según la solución adoptada. Las soluciones óptimas en estos climas muestran una mayor sensibilidad según el porcentaje de huecos, con tendencia a disminuir los consumos a mayor porcentaje, mientras, con las transmitancias orientativas del Anejo E, esta tendencia se invierte.

En el caso concreto del edificio que se ha usado de modelo para realizar este estudio, se puede deducir que es una tipología más adecuada para climas templados y fríos. En climas cálidos, es posible obtener mejoras claras en los niveles de consumo mediante sombras, fijas o móviles, en las que no se modifican las transmitancias de los elementos de la envolvente térmica.

Aunque a efectos de comparación en este estudio se ha mantenido fijo el diseño del edificio, se aprecia la gran importancia de adaptar el diseño del edificio al clima.

#### 4.3. Comparación económica entre los valores límite y el anejo E

En los casos en los que ambas soluciones permiten el cumplimiento de los dos requisitos, las soluciones optimizadas que se ciñen estrictamente al valor de  $K_{lim}$  resultan más económicas a la hora de la construcción de la envolvente. (Tabla 6)

Sin embargo, al calcular los consumos se muestran las diferencias que se consiguen al usar los valores que cumplen el límite reglamentario y los valores orientativos del Anejo E, observándose que a medida que el clima es más frío, la diferencia entre usar los valores límite y los orientativos, son mayores.

Al mismo tiempo, debe tenerse en cuenta que este análisis se ha realizado para un edificio con una compacidad concreta y sin tener en cuenta en el estudio de costes el coste de operación (el coste del consumo de energía), que sí está incorporado en los valores orientativos del Anejo E. En este sentido, las soluciones derivadas de los valores orientativos, aunque sean más costosas al principio, logran valores de consumo inferiores, lo que a la larga puede resultar más económico al usuario.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han estudiado los valores de transmitancias térmicas de elementos individuales indicadas por el CTE DB-HE, usando soluciones constructivas equivalentes para realizar los cálculos del coeficiente global de transmisión de calor y consumos energéticos. Se han desarrollado distintas hipótesis de envolvente en un edificio de uso residencial plurifamiliar para estudiar distintas estrategias en la verificación de los requisitos de las secciones HEO y HE1.

Tras los resultados arrojados, se puede llegar a las siguientes conclusiones para la tipología estudiada sobre el comportamiento de la envolvente:

- Los valores máximos de transmitancia para los elementos es condición, pero no causa, del cumplimiento del coeficiente global de transmisión de calor. Para obtener un valor por debajo del límite, es necesario tomar medidas a nivel global y no sólo por partes.
- Los valores orientativos del Anejo E permiten verificar el cumplimiento de los indicadores normativos en la mayoría de casos, aunque, en climas cálidos, es probablemente necesario recurrir a valores más exigentes de transmitancia de huecos.
- Para porcentajes bajos de huecos en fachada, la opción más económica para lograr el cumplimiento de la envolvente es aumentar el espesor de aislamiento en las partes opacas con transmitancias altas. Mientras, para porcentajes altos de huecos el peso de la mejora de la envolvente recae básicamente en los huecos.
- No son necesarios altos espesores de aislante para mantenerse en el cumplimiento de los requisitos normativos, ya que, para un mismo aislante, la mejora que se obtiene al aumentar el espesor del mismo es mayor para un paramento con alta transmitancia que para un paramento con baja transmitancia, aunque en ambos casos se aumente el mismo espesor.
- En relación a los consumos, para los sistemas de este estudio se puede comprobar que la envolvente que cumple el coeficiente K también cumple generalmente los indicadores de consumo. En este caso, los valores de transmitancia que aparecen en la sección HE1 están más ajustados en climas fríos.
- Los valores orientativos del Anejo E, aunque al principio puedan tener un mayor impacto económico, logran consumos menores que las soluciones de transmitancia límite, lo que puede suponer un ahorro a lo largo del tiempo al usuario.

Este trabajo ha permitido estudiar el coste de la envolvente a través de un análisis económico atendiendo al coste de inversión, no al de uso, en el que los parámetros de diseño que se varían han sido los referidos al espesor de aislamiento y porcentaje de huecos en fachada, y su relación con las exigencias normativas de las secciones HE0 y HE1 del DB-HE 2019, en un edificio residencial plurifamiliar.

Se refleja el comportamiento del coeficiente K, y una estrategia para el cumplimiento de las secciones HE0 y HE1 con un modelo de costes simplificado. El análisis de consumos realizado tiene como objetivo detectar que el cumplimiento en estos indicadores es viable con las soluciones previamente obtenidas, ya que

el coeficiente K es sólo una parte de los diversos aspectos que influyen en la demanda energética.

Se puede afirmar que el edificio tal y como se ha modelado en este trabajo no está adaptado a climas con alta demanda de refrigeración. Un estudio del mismo edificio con elementos fijos de sombra puede dar lugar a consumos menores y, por tanto, determinar condiciones específicas de diseño adaptadas a cada clima.

Como futura línea de investigación, sería interesante realizar este estudio en distintas tipologías edificatorias con otras compacidades, con el fin de determinar el efecto de la aplicación de la nueva normativa en la amplia casuística del parque edificatorio.

## 6. REFERENCIAS / REFERENCES

- (1) MFOM. (2019). Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, nº 311, Sec I, pp. 140488-140674. España. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528.pdf>
- (2) Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). *Diario Oficial de la Unión Europea* L 153, 18 de junio de 2010, pp. 13-35. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:ES:PDF>
- (3) Villar Burke, R., Jiménez González, D., Sorribes Gil, M. (2018) Cuestiones sobre la actualización del DB-HE 2018: Una visión del Instituto Eduardo Torroja (Unidad de Calidad en la Construcción) V Congreso EECN Edificios Energía Casi Nula. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10261/214792>
- (4) MFOM. (2013). Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, nº 219, Sec I, pp. 67137-67209. España. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511.pdf>
- (5) Villar Burke, R., Sorribes Gil, M., Jiménez González, D., Sobaler Rodríguez, J. (2020). *Guía de aplicación DB-HE 2019*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. España. Recuperado de [https://www.codigotecnico.org/pdf/Guias-yOtros/Guia\\_aplicacion\\_DBHE2019.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/Guias-yOtros/Guia_aplicacion_DBHE2019.pdf)
- (6) Peña, R. (2014). Living Proof The Bullitt Center. Universidad de Washington. EE.UU. Recuperado de <http://www.bullittcenter.org/wp-content/uploads/2015/08/living-proof-bullitt-center-case-study.pdf>
- (7) Suárez, R., Frago, J. (2016). Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo. *Informes de la Construcción*, 68 (541): e136. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion/articulo/view/4678/5456>
- (8) Villar-Burke, R., Jiménez-González, D, Larrumbide, E., Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la Construcción*, 66(535): e030, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>.
- (9) García-Navarro, J., González-Díaz, M.J., Valdivieso, M. (2014). «Estudio Precost&e»: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid. *Informes de la Construcción*, 66(535): e026, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.052>.
- (10) AENOR. (2017). UNE-EN ISO 13370:2017. Prestaciones térmicas de edificios. Transmisión de calor por el terreno. Métodos de cálculo. Asociación Española de Normalización.
- (11) IETcc-CSIC. (2008). Catálogo de elementos constructivos del CTE. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Recuperado de <https://itec.cat/cec/>
- (12) CYPE Ingenieros (2020) *Generador de precios. España*. Recuperado de <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>
- (13) MFOM. (2014). Documento de Apoyo DA DB-HE / 3 Puentes térmicos, Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento. España. Recuperado de [https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-3\\_Puentes\\_termicos.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf)
- (14) Villar Burke, R., Jiménez González, D., Sorribes Gil, M. (2020) *Envolvente CTE*. Recuperado de <https://pachi.github.io/envolventecte/#/>
- (15) MITMA. (2020). Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/Programas/HerramientaUnificadaLIDERCALENER.html>
- (16) MINETUR, MFOM. (2014). *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Ministerio de Fomento. España. Recuperado de [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores\\_emision\\_CO2.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf)